

Max Aarnio

# Sähköajoneuvon keskeisimmät komponentit

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

15.9.2012

Tekijä Otsikko	Max Aarnio Sähköajoneuvon keskeisimmät komponentit
Sivumäärä Aika	23 sivua 15.9.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Koneautomaatio
Ohjaaja	Lehtori Jari Savolainen
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun koneautomaation osastolle. Työn tarkoituksena oli selvittää sähköautojen ja hybridi ajoneuvojen laitteiden ja komponenttien yhteistoiminta.</p> <p>Sähköautot ovat ensimmäinen apu kallistuvan öljyn tuomien kuljetuskustannuksien helpottamiseksi. Tässä työssä oli tavoitteena tutkia sähköajoneuvojen pääkomponentteja.</p> <p>Aluksi perehdyttiin ajoneuvoissa pääasiallisesti käytössä olevan CAN-väylän peruseräilyteisiin, kuten protokollaan. Käytiin läpi erilaisia sähköajoneuvotyyppäjä, kuten täyssähköajoneuvo sekä hybridi ajoneuvo ja sen alalajit. Työssä selvitettiin eri akkutekniikoiden eroa ajoneuvokäytössä, perinteisistä lyijyakuista aina superkondensaattoreihin. Lisäksi tutkittiin lyhyesti jarruenergian talteenottamista ja sen toimintatapaa yleisesti sähkökäyttöisissä ajoneuvoissa.</p> <p>Tässä insinöörityössä tutkittiin myös ajoneuvoissa käytettäviä sähkömoottoreita ja niiden ohjausta. Akustojen ohjausjärjestelmiä, joita kutsutaan myös nimellä BMS, ja niiden balansointitapoja selvitettiin läpi.</p>	
Avainsanat	CAN-väylä, sähköajoneuvo, BMS

Author	Max Aarnio
Title	Electric Vehicle's Main Components
Number of Pages	23 pages
Date	15 September 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Machine Automation
Instructor(s)	Jari Savolainen, Principal Lecturer
<p>This Bachelor's thesis was carried out at the machine automation department of Metropolia University of Applied Sciences. The purpose of this thesis was to analyze the main components and their cooperation of the electric- and hybrid vehicles.</p> <p>The electric vehicles are the first help to reduce the costs of transportation when oil prices are getting high. The aim of this thesis was to examine the main components of an electric vehicle.</p> <p>Firstly the CAN-bus and its protocol which is mainly used in vehicles were examined. Furthermore different electric vehicles such as EV and hybrid cars and their subclasses were analyzed. Also different battery types and their features in electric vehicle use were introduced, like lead acid-batteries and supercapacitors. There were also studied breaking energy's regeneration and its working principles generally in electric vehicles.</p> <p>In this thesis electric motors were studied also and their controls used in electric vehicles. In addition, BMS, battery management system was introduced as well and their balancing methods.</p>	
Keywords	CAN-bus, Electric vehicle, BMS

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	CAN-väylä	2
2.1	Perusominaisuudet	2
2.2	Kehykset	3
2.3	Prioriteetit	4
3	Sähköajoneuvotyypit	5
3.1	EV - Electric vehicle	5
3.2	PHEV - Plug-in hybrid electric vehicle	5
3.3	HEV - Hybrid electric vehicle	5
3.3.1	Sarjahybridi	5
3.3.2	Rinnakkaishybridi	6
4	Akusto ja lataus	7
4.1	Akun toimintaperiaate	7
4.2	Akkutyypit	8
4.2.1	Lyijyakku	9
4.2.2	Nikkeliakut	11
4.2.3	Litiumioniakku	12
4.2.4	Superkondensaattorit	13
5	Energian talteenottaminen ja varastointi	14
6	Sähkömoottorit ja ohjaus	15
6.1	AC-moottori ja ohjaus	15
6.2	DC-moottori ja ohjaus	16

7	Ohjausjärjestelmät	17
7.1	Passiivinen balansointi	20
7.2	Aktiivinen balansointi	20
8	Yhteenveto	21
	Lähteet	22

## Lyhenteet

AC	Vaihtovirta
b/bit	Bitti, pienin informaation yksikkö. Bitillä on kaksi mahdollista arvoa, joita kuvaavat yleensä ykkönen ja nolla.
BMS	Battery Management System, akun hallintajärjestelmä
CAN	Controller Area Network
DC	Tasavirta
EV	Electric vehicle
HEV	Hybrid electric vehicle
Li-ion	Litiumioniakku
Ni-Cd	Nikkeli-kadmium
Ni-MH	Nikkeli-metallihybridi
ohm	Ohmi, vastuksen yksikkö
PHEV	Plug-in hybrid electric vehicle
PWM	Pulse-Width Modulation, pulssin leveys modulaatio
W/kg	Tehotiheys
Wh/kg	Energiatiheys painoyksikköä kohden
Wh/l	Energiatiheys tilavuutta kohden

## 1 Johdanto

Nykyään ajoneuvotekniikka kehittyy koko ajan polttoainetaloudellisempaan suuntaan. Fossiilisten polttoaineiden käytöstä aiheutuvat ympäristöhaitat, kuten hiilidioksidipäästöt ja öljyn hinnan jatkuva nousu aiheuttavat autonvalmistajille paineita kehittää yhä vähäpäästöisempiä ajoneuvoja. Myös lainsäädännöllä ja asetuksilla koetetaan pitää kehitystä yllä kohti nollapäästöistä ajoneuvoa. Tällä hetkellä näyttääkin, että hybridiajoneuvot ovat vain yksi askel kohti tuota tavoitetta. Hybriditeknologialla saadaan vain parannettua ajoneuvon hyötysuhdetta.

Eniten täyssähköajoneuvojen tuloa on jarruttanut akkutekniikan hidas kehittyminen. Viime aikoina tällä saralla on tapahtunut suurta edistystä verrattuna edellisiin vuosiin. Kuitenkin, vaikkakin tekniikka olisikin valmis, on hinta seuraava este kaupallistaa ajoneuvoja kuluttajille riittävän alhaiseen hintaan. Hybridiversioita kuitenkin on tullut kuluttajille sopivaan hintaan ja niiden käyttö onkin lisääntynyt huomattavasti. Nämä tarvitsevat edelleen silti kansallisia kannustimia, kuten verohelpotuksia, pärjätäkseen taloudellisimmille polttoainekäyttöisille ajoneuvoille. Täyssähköajoneuvoihin siirtyminen tuo tullessaan sen hyödyn, että sähkömoottorit toimivat huomattavasti suuremmalla hyötysuhteella kuin nykyaikaisemmatkaan polttomoottorit. Onneksi tilanne on, ettei tarvitse keksiä koko ajoneuvoa uudestaan, vaan vaihtaa polttomoottorin ja sen apulaitteiden tilalle sähköinen moottori ja sen ohjain, tiettyssä tapauksessa vaihteisto, akusto ja ohjausjärjestelmä valmiiseen aihioon.

Tämän työn tarkoituksena, jonka aihe saatiin Metropolia Ammattikorkeakoulun koneautomaation osastolta, on tutkia sähkö- ja hybridiajoneuvojen keskeisimpiä komponentteja ja niiden toimintaa yhdessä.

## 2 CAN-väylä

CAN-väylä tulee sanoista Contoller Area Network. Se kehitettiin ratkaisemaan ajoneuvojen massiiviseksi kasvaneiden johtonippujen ongelma. Johdotuksien takia tulivat ongelmallisiksi tila, paino ja kustannukset. Myöhemmin ajoneuvoihin asennetut elektroniset ohjausjärjestelmät, kuten moottori, jarrut, luistonesto ja vaihteisto vaativat paljon anturitietoa. CAN-väylä mahdollistaa kasvaneen tiedonsiirron kaikkialle, missä sitä tarvitaan. Väylän kautta tapahtuva diagnosointi myös helpottaa ajoneuvon vian paikallistamista. Autoon lisälaitteiden lisääminen helpottuu, kun tarvitsee liittää vain uusi laite jo olemassa olevaan väylään. (1.)

### 2.1 Perusominaisuudet

CAN-väylä perustuu monen solmun itsenäisesti toimivaan väylään. Jokainen solmu voi lähettää sanoman, joka on maksimissaan 8 tavua (64 bittiä) tietoa. Pääsääntöisesti sanoma lähetetään vastaanotettavaksi. Solmut, jotka tarvitsevat tiedon väylältä, ottavat sanoman vastaan. CAN-väylässä ei käytetä osoitteita lähettäjän ja vastaanottajan välillä, tämä mahdollistaa periaatteessa rajattoman solmujen määrän. Solmu kirjoittaa tunnisteen sanomaan ja vastaanottaja, joka tunnistaa tunnisteen, kaappaa sanoman. Myös solmujen, jotka eivät tarvitse tiettyä tunnisteen omaavaa sanomaa, on tiedettävä tunniste, että ne eivät lähetä viestiä samalla tunnisteella väylään. Tunnisteen pituus on 11 bittiä. Väylän nopeus riippuu väylän pituudesta. Enimmäisnopeus on 1 Mbit/s väylän pituuden ollessa maksimissaan 40 m. Väylän pituuden kasvaessa siirtonopeus hidastuu. Väylän pituuden ollessa 1 km, alenee väylän nopeus 50 kbit sekunnissa. CAN-väylässä väyläkaapeli kulkee jokaisen solmun kautta ja päät päätetään 120 ohmin vastuksilla. Yleisesti väylänä käytetään parikaapelia, mutta myös muut tavat, kuten optinen kuitu, on mahdollista. (1.)



## 2.2 Kehykset

CAN-protokollassa on neljä erilaista kehystä: sanomakehys, kyselykehys, virhekehys ja ylikuormituskehys.

Varsinainen sanomakehys koostuu tunnistekentästä, DLC-kentästä ja tietotavujen kentästä (kuva1). Tunnistekentässä (identifier) on sanoman tunnistenumero ja sen perässä RTR-bitti, joka kertoo onko kyseessä tieto- vai kyselykehys (dominantti = tietokehys, resessiivinen = kyselykehys). DLC-kenttä kertoo tietokentän pituuden ja sen edessä IDE-bitti kertoo, onko kyseessä standardinmuotoinen vai laajennettu kehys. R0 ja r1 ovat varattuja, mutta ei käytössä. Tietotavukentässä on varsinainen data. Sen pituus on maksimissaan 8 tavua. (1.)

### Standard Frame Format



### Extended Frame Format



Kuva 1. CAN-sanomankehysten rakenne.

Kyselykehys ja sanomakehys ovat muodoiltaan samankaltaisia, mutta RTR-bitti on resessiivinen eli kyselykehysmuotoinen ja tietokenttää ei ole. Mikäli sanomassa havaitaan virhe, lähetetään virhekehys. Virhekehys käsittää kuusi dominanttia ja kahdeksan resessiivistä bittiä. Tämä kehys rikkoo CAN-protokollan bit-stuff-sääntöä, jolloin kaikki solmut tulkitsevat viestin virheelliseksi ja hylkäävät sen.

Ylikuormituskehystä voidaan lähettää sanomien välisenä aikana. Tällä tavalla vastaanottava solmu saa lisäaikaa käsitellä juuri vastaanottamaansa tietoa. Muodoiltaan yli-

kuormituskehys ja virhekehys ovat samankaltaisia. Käytännössä järjestelmissä yli-kuormituskehystä esiintyy erittäin harvoin, sillä protokollapiirit eivät tarvitse lisää aikaa yksittäisten sanomien käsittelyyn. (1.)

### 2.3 Prioriteetit

Mikä tahansa solmu voi yrittää lähettää tietoa väylälle samanaikaisesti, kun väylä on vapaa. Tästä seuraa liikenteen puuroutuminen. Lähetysvuoro ratkaistaan tunnistenumeron perusteella. Vuoro ratkaistaan bitti bitiltä taulukon 1 tapaan. Mitä pienempi tunnistenumero on, sitä suurempi prioriteetti. (1.)

Taulukko 1. Prioriteetin periaate.

SOLMU1:	0	0	0	1*	0	1	1	0	0	0	1	=	177	(esim. moottorin rpm)
SOLMU2:	0	1*	1	0	0	1	0	1	1	0	1	=	813	(esim. jäähdytysveden lämpöt.)
SOLMU3:	0	0	0	1*	1	0	1	1	0	1	0	=	218	(esim. ajoneuvon nopeus)
VÄYLÄ	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	=	177	(moottorin rpm)

Bitti bitiltä periaate 11-bittisen tunnistenumeron aikana. Nollabitti kumoaa ykkösbitin.

\* Asema huomaa menettäneensä valtuuden ja lopettaa lähettämisen ja siirtyy vastaanottajaksi.

### 3 Sähköajoneuvotyypit

#### 3.1 EV - Electric vehicle

EV on ajoneuvo, joka toimii vain ja ainoastaan sähköllä. Päästöjä ei synny käytöstä vaan sähkön tuotannosta, siirrosta (hyötysuhde) ja valmistuksessa syntyvästä energiankulutuksesta. (3.)

#### 3.2 PHEV - Plug-in hybrid electric vehicle

PHEV on hybridiajoneuvo jonka voimanlähteenä on sähköverkosta ladattavan sähkömoottorin lisäksi jokin toinen voimanlähde, kuten polttomoottori. Päästöt riippuvat tässäkin samoista asioista kuten EV - ajoneuvossa, mutta lisänä on toisen voimanlähteen käyttöenergia, kuten bensiini tai dieselöljy. (3.)

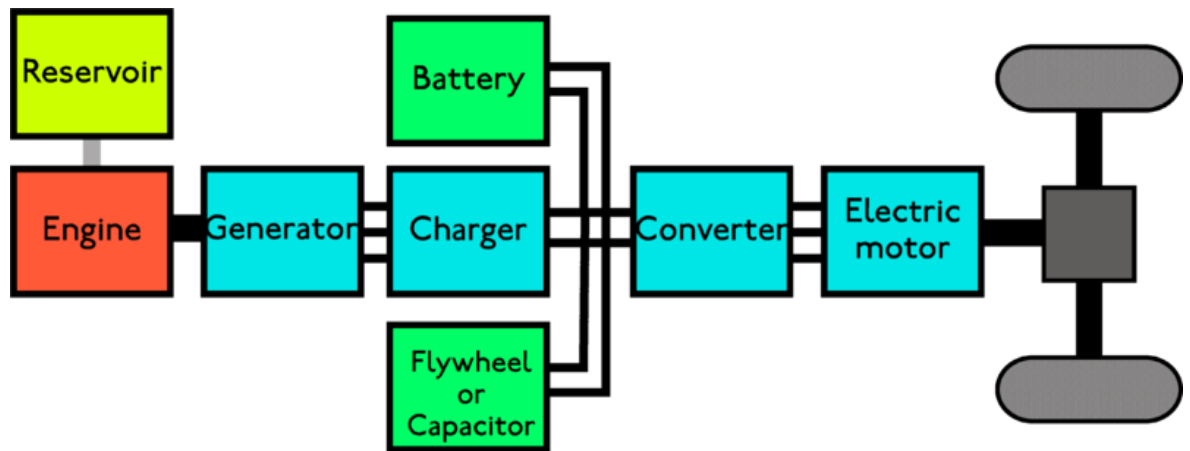
#### 3.3 HEV - Hybrid electric vehicle

HEV on hybridiajoneuvo ilman ulkoista latausmahdollisuutta. Tämänkaltaista ajoneuvoa kutsutaan autonomiseksi. Autonomisessa hybridiajoneuvossa kaikki energia tuotetaan yleensä polttomoottorin avulla. Sähkötekniikan tarkoituksena on parantaa polttomoottorin hyötysuhdetta. Tätä suhdetta voidaan parantaa esimerkiksi jarrutusenergian talteenotolla. (3.)

##### 3.3.1 Sarjahybridi

Sarjahybridissä ei ole mekaanista yhteyttä polttomoottorin ja renkaiden välillä, vaan voiman siirto tapahtuu sähkömoottorin avulla (kuva 2). Tällaisessa järjestelmässä polttomoottoria käytetään pyörittämään generaattoria, joka tuottaa virtaa suoraan sähkömoottorille ja lataa akkua tasaisessa ajossa. Sarjahybridissä polttomoottoria voidaan käyttää koko ajan optimaalisella käyntinopeudella, jolloin saavutetaan paras mahdollinen hyötysuhde. Huonona puolena on tehohävikki, kun liike-energiaa muutetaan sähköiseen muotoon ja taas takaisin liike-energiaksi. Sarjahybridin rakenne on yksinkertai-

sempi kuin rinnakkaishybridissä, mutta sähkömoottorin pitää olla tehokkaampi, jotta moottorin teho riittää liikuttamaan autoa. (3.)

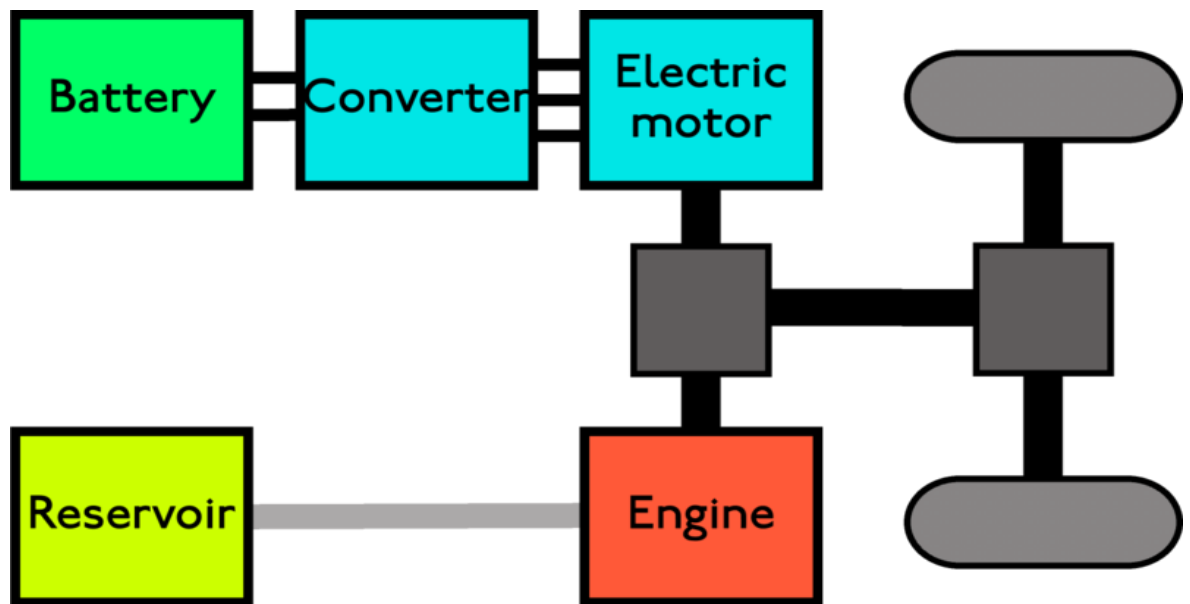


Kuva 2. Sarjahybridi järjestelmä (3).

### 3.3.2 Rinnakkaishybridi

Rinnakkaishybridissä on mekaaninen yhteys pyörien ja polttomoottorin välillä (kuva 3). Polttomoottori ja sähkömoottori siis toimivat rinnakkain. Ne molemmat tuottavat ajamiseen tarvittavan tehon. Polttomoottori on yleensä pääasiallinen voimanlähde, jota sähkömoottori tukee tarvittaessa, esimerkiksi kiihdytyksissä. Sähkömoottoreita on yleensä vain yksi, joka toimii tilanteen mukaan joko lisävoimanlähteenä tai generaattorina. Sähkömoottori tarjoaa lisätehoa kiihdytyksissä ja vastaavasti kerää energiaa talteen jarrutuksissa. Tasaisessa ajossa sähkömoottori toimii generaattorina ja lataa akkua. (3.)

Yleensä rinnakkaishybridillä ei voi ajaa pelkällä sähkömoottorilla, vaan polttomoottori on aina käynnissä. Tällaisesta hybridistä käytetään nimitystä kevythybridi. Koska polttomoottori ja sähkömoottori molemmat osallistuvat ajamiseen tarvittavan voiman tuottamiseen, voidaan voimanlähteet mitoittaa hieman pienemmiksi. Myös akku voi olla pienempi, jos sitä ei käytetä yksinään voimanlähteenä. Tämä tuo sekä kustannus- että painosäästöä. (3.)



Kuva 3. Rinnakkaishybridijärjestelmä. (3.)

## 4 Akusto ja lataus

### 4.1 Akun toimintaperiaate

Akku toimii energiavarastona eli se pystyy varastoimaan sähköenergiaa. Akkua voidaan ladata ulkoisesta tehonlähteestä purkausvirtaan nähden vastakkaisella virralla. Akku ottaa vastaan sähköenergiaa, jonka se varastoi kemialliseksi energiaksi. Purkauksessaan akku muuttaa kemiallisen energian takaisin sähköenergiaksi. Akut toimivat sähköparin periaatteella. Anodin ja katodin välillä tapahtuu sähkökemiallisia reaktioita elektrolyytin mahdollistamana. Elektrolyytinä toimii aine, joka pystyy tuottamaan vesiliuokseen ioneja mahdollistaen liuoksen sähkönjohtavuuden. Akkujen perusominaisuuksia ovat nimellisenergia, energiatiheys, nimellisjännite, itsepurkautuvuus ja hyötysuhde sekä paino, tilavuus ja kestoikä. (4; 5; 6.)

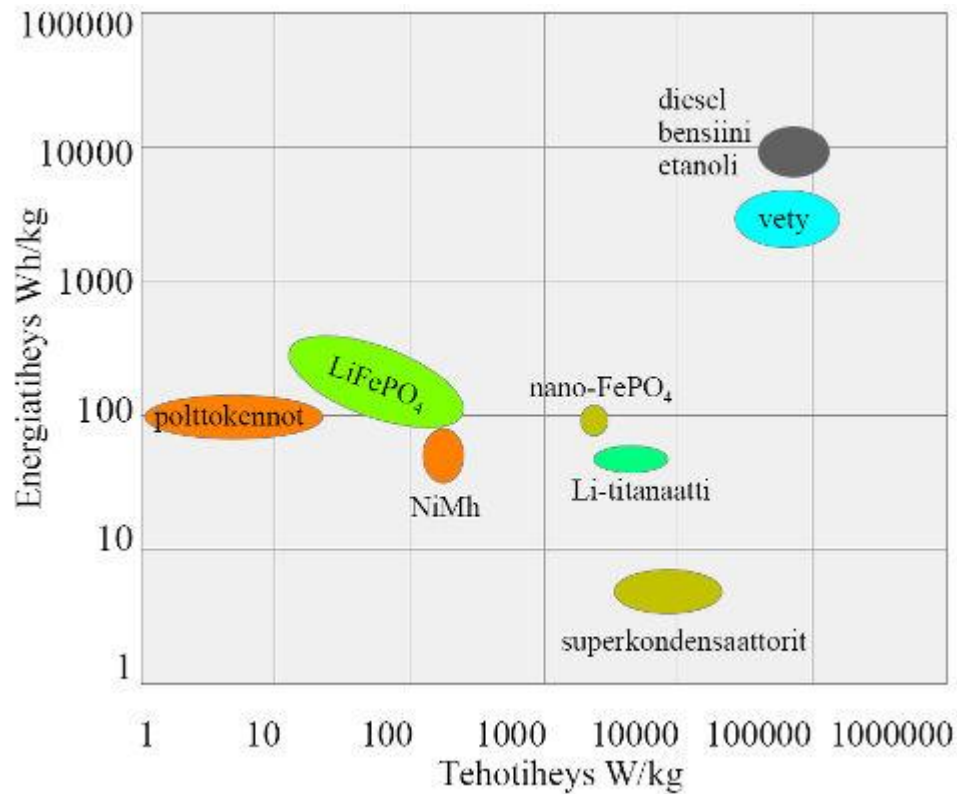
Sähköautoissa akusto toimii energiavarastona samoin kuin polttomoottoriautossa poltto-ainetankki. Akustot ovat varsin painavia ja vievät paljon tilaa verrattuna niiden kapasiteettiin varastoida sähköenergiaa. Esimerkiksi bensiinin energiatiheys massayksikköä kohden on noin 70 kertaa isompi kuin litium-ioni-akun. Sähköautokäytössä akkujen suhteellisen lyhyt käyttöikä ja kallis hinta kasvattavat hankinta- ja ylläpitokustannuksia huomattavasti. Myös pitkät latausajat ovat ongelmana. Tällä hetkellä sähköautoissa käytetään useimmiten lyijy- ja litium-teknologiaan perustuvia akkuja. Ajoneuvokäytössä akkupaketti koostuu normaalisti useasta pienemmästä akkukennosta, joita on yhdistetty sarja- ja rinnankytkennöillä toisiinsa jännitteen ja kapasiteetin kasvattamiseksi. Litium on luonnostaan epävakaa aine, jonka vuoksi litiumtekniikkaan perustuvia akkuja onkin pidetty vaarallisina. Tästä syystä litiumioniakkupaketti sähköautossa vaatii varsin kattavan akkujenhallinta järjestelmän, jonka ansiosta akustot ovat nykyään turvallisia ja vakaita. (4; 5; 6.)

#### 4.2 Akkutyypit

Akku on laite, joka varastoi itseensä tasasähköä. Akkua ladattaessa, se muuttaa sähköenergiaa kemialliseksi energiaksi. Purettaessa kemiallinen energia muuttuu tasasähköenergiaksi. Kustannukset ja suorituskyky ovat hidastaneet akkujen yleistymistä mobiilikäytössä. Akkujen energiatiheys (Wh/kg tai Wh/l) on ollut melko alhainen. Tämän takia akkuja on tarvittu paljon, mikä lisää merkittävästi lisääntyvää painoa ja kokoa.

On myös hyvä panna merkille, että suurentamalla tehotiheyttä (W/kg tai W/l) pystytään akkua käyttämään suuremmilla lataus- ja purkaustehoilla. Varjopuolena on, että energiatiheys pienenee. Mobiilikäytössä akusto eli akkupaketti koostuu useista yksittäisistä akuista. Akut voidaan jakaa kahteen luokkaan eli energia-akkuihin ja tehoakkuihin. Energia-akuista voidaan purkaa paljon energiaa pidemmän aikaa pienemmällä virralla. Tehoakuista energiaa saadaan lyhyen aikaa suurella virralla. (9.)

Mobiilikäytössä olevat akkutyypit ovat yleensä lyijyakku, nikkelimetalli-hydridiakku (NiMH) ja litiumioniakku (Li-ion). Kuvassa 4 on esitettyä muutamien akkutyypin sekä energialähteiden energia- ja tehosiheyksiä.



Kuva 4. Eräiden ajoneuvosovelluksissa käytettävien akkutyyppien ja energialähteiden energia- ja tehotehyyksiä (10).

#### 4.2.1 Lyijyakku

Lyijyakussa (kuva 5) on vähintään kaksi lyijylevyä, jotka toimivat elektrodeina, sekä noin 37 % rikkihappoa. Lyijyakut ovat tällä hetkellä edullisimpia ja täyttävät vaatimuksensa useimmissa sovelluksissa. Nykyään akuissa on useampia positiivisia ja negatiivisia levyjä ja niiden välissä voi olla eriste. Kennoksi kutsutaan kotelo, missä ovat elektrodit, eristeet ja elektrolyytti. Mikäli kotelo on suljettu, sitä kutsutaan huoltovapaaksi. Kotelossa voi olla myös korkit, jolloin niitä voidaan huoltaa lisäämällä nestettä. Monesti lisättävä neste on tislattua vettä. Akun ulkopuolella olevat positiivinen napa ja negatiivinen napa on kytketty elektrodeihin. (11.)

Lyijyakut ovat tulleet tunnetuiksi esimerkiksi käynnistysakkuina. Ne ovat suunniteltu antamaan hetkellisesti kovia virtoja. Tämän tyyppisiä akkuja kutsutaan tehoakkuiksi. Auton lyijyakku voi antaa hetkellisesti jopa 800 A:n virran. Käynnistysakkuja ei saa purkaa kovinkaan paljon ja syväpurkaus lyhentää huomattavasti akun elinikää. Käynnistysakkujen kapasiteetit ovat tyypillisesti noin 40–200 Ah. (11.)

Paikallisakuissa, esimerkiksi aurinkosähköjärjestelmissä käytettävät akut, ja trukeissa sekä muissa mobiililaitteissa olevat akut ovat energia-akkuja. Energia-akku ja tehoakku ovat rakenteeltaan samankaltaisia. Energia-akuissa on suuri kapasiteetti eli ne pystyvät varastoimaan enemmän energiaa kuin tehoakut. Tämänkaltaisen energia-akku ei pysty antamaan hetkellisesti niin paljon virtaa kuin tehoakku. (11.)



Kuva 5. Lyijyakku (11).



#### 4.2.2 Nikkeliakut

Nikkeliakut tulivat lyijyakkujen jälkeen uutena akkuteknologiana. Näistä yleisempiä ovat nikkeli-metallihybridi (Ni-MH) ja nikkeli-kadmium (Ni-Cd) -akut. Nikkeli-kadmiumin etuna on suurempi lataus- ja purkuvirta sekä pidempi elinkaari verrattuna nikkeli-metallihybridi akkuun. Ni-Cd-akun positiivinen elektrodi on valmistettu nikkelihydroksidista ja negatiivinen kadmiumista. Elektrolyytinä toimii kaliumhydroksidiliuos. Ni-Mh-akun positiivisena elektronina on nikkelihydroksidi ja negatiivisena elektronina metallihybridi. Nikkeli-metallihybridi akussa toimii myös elektrolyytinä kaliumhydroksidi. (12; 13.)

Ni-Cd-akkujen itsepurkautuvuus on suhteellisen suuri. Ensimmäisellä latauskerralla akkua pitää ladata yleensä suhteellisen pitkään, noin 24 tuntia. Vasta 2 - 3 latauskerran jälkeen saavutetaan täysi kapasiteetti. Kapasiteetti heikkenee ajan myötä, mutta kestää hyvin noin 800–1000 sykliä, eli varaus- ja purkujaksoa. Nikkeli-kadmiumakun yksi huonoista puolista on sen muisti. Jos sitä puretaan jatkuvasti samanmääräisesti eikä pureta välillä täysin tyhjäksi, sen sähkönvarauskyky eli kapasiteetti heikkenee käytettyyn purkaussmäärään. Nikkeli-kadmiumakku on ollut kiellettyä EU:n alueella syksystä 2009 lähtien lukuun ottamatta erikseen ilmoitetuissa käyttötarkoituksissa. Syynä kieltoon on sen sisältämä kadmium (Cd), joka on ihmiselle ja ympäristölle vaarallinen myrkky. (12; 13.)

Nikkelimetallihybridiakku kärsii myös muisti-ilmiöstä nikkeli-kadmium-akun tavoin, mutta selvästi vähemmän. Ni-Mh-akulla on suurempi kapasiteetti mutta lyhyempi kestoikä kuin Ni-Cd-akuilla. Nikkelimetallihybridiakku kärsii kovasta itsepurkautumisesta, ja sillä on matala virrankantokyky verrattuna nikkeli-kadmium-akkuun. Myös nikkelimetallihybridiakku on ympäristölle myrkyllinen, sen sisältämän nikkelin takia, minkä takia se luokitellaan ongelmajätteeksi. (12; 13.)

### 4.2.3 Litiumioniakku

Litiumilla on suuri sähkökemiallinen jännite ja sen takia suuri energiatiheys. Litium on myös metalleista kevyin, minkä takia se sopii hyvin akkukäyttöön. Litiumioniakun (Li-ion) (kuva 6) positiivinen elektrodi on tehty litiumoksidista ja negatiivinen grafiitista tai jostakin muusta hiilipohjaisesta aineesta. Elektrolyyttinä toimii esimerkiksi etyleenikarbonaatti.

Litiumionikennon nimellisjännite vaihtelee noin 3,2–3,7 V. välillä riippuen katodimateriaalista. (12; 14; 15.)



Kuva 6. European Batteriesin Litium-ioni-akkumoduuleja (16).

#### 4.2.4 Superkondensaattorit

Superkondensaattori (kuva 7) eroaa perinteisestä kondensaattorista siinä, että perinteisessä kondensaattorissa energia varastoidaan sähkökenttään, kun superkondensaattorissa energia varastoidaan ionien liikkeen avulla. ”Perinteisten” kondensaattoreiden lataus-purkaussyklien määrä on lähes rajaton. Superkondensaattoreilla tilanne ei ole aivan sama, mutta syklinen kesto on luokkaa miljoonia, joten se on vähintään riittävä kaikkiin ajateltavissa oleviin sovelluksiin.

Superkondensaattoreiden virran otto- ja antokyky on heikompi kuin ”perinteisillä” kondensaattoreilla, mutta parempi tai vähintään yhtä hyvä kuin parhaimmilla akkutekniikoilla. Käytön kannalta yksi merkittävä ero on se, että kondensaattorin jännite on riippuvainen varaustilasta. Akkuissahan kennojännitteen muutos on pieni (varaustilan ollessa 10 % ... 100 %), ja riippuu varaustilan lisäksi myös kuormituksesta ja lämpötilasta. (17.)



Kuva 7. LS Mtronin superkondensaattori moduuli (18).

## 5 Energian talteenottaminen ja varastointi

Perinteisiä hydraulisia jarruja käytettäessä energiaa tuhlataan merkittävästi. Jarrutettaessa jarrupalojen ja -levyjen väliin syntyvä kitka saa aikaan lämmön nousun jarruissa, jolloin liike-energia muuttuu tätä kautta lämmöksi ja haihtuu ilmaan. Jarruenergiaa on mahdollista kerätä talteen erilaisilla järjestelmillä eri energiavarastoihin kuten akkuun, superkondensaattoriin, hydraulisäiliöön tai vauhtipyörään. Pelkästään fossiilisilla polttoaineilla toimivissa ajoneuvossa tätä energiaa on vaikea hyödyntää, mutta sähkö- ja hybridiajoneuvoissa se on helpompaa. (19.)

### Energiavarastot

Erilaiset jarruenergian varastointitavat soveltuvat erilaisiin käyttökohteisiin. Hydraulisessa jarruenergian talteenotossa vetoakseleiden pyörimistä vastustetaan hydraulines-teellä, jota pyörimisliike työntää hydraulisäiliöön. Tällöin hydraulisäiliössä paine kasvaa ja ajoneuvon vauhti hidastuu. Purettaessa hydraulisäiliön paineistettu neste työntää vetoakseleita pyörivään liikkeeseen. Hydraulinen järjestelmä on äänekäs, vie tilaa ja on suhteellisen painava. Hydraulinen järjestelmä soveltuu parhaiten raskaisiin ajoneuvoihin. (6; 19.)

Inertia on mahdollista johtaa pyörivään vauhtipyörään, jolloin energia varastoidaan liike-energiana. Vauhtipyörällä on myös gyroskooppisia ominaisuuksia, mutta se on painonsa puolesta huono vaihtoehto sähköautoon. (6; 19.)

Akun virran tai jännitteen vastaanottokyky rajoittaa jarruenergian talteenottamista, sillä ylimääräinen energia saatetaan joutua syöttämään vastuksiin akuston ylikuumenemisvaaran vuoksi, jolloin hyötysuhde kärsii. Superkondensaattorilla on kyky ottaa vastaan varsin suuria energiamääriä nopeasti, eli sillä on hyvä energia- ja tehotiheys. Superkondensaattoreihin ei kuitenkaan pysty varastoimaan suuria määriä energiaa. Jarruenergia voidaan toisaalta ohjata superkondensaattorin välityksellä akustoon, jolloin energiaa saadaan paljon ja nopeasti talteen. Kondensaattori myös tasaa energian kulua, joten sen avulla saadaan regeneratiivinen jarrutus pysymään muuttumattomana koko ajan. Muutoin regeneratiivisen jarrutuksen ominaisuudet olisivat akuston varaustilasta riippuvaisia. (6; 19.)

Kaikissa AC-moottorilla varustetuissa sähköautoissa on vakiona regeneratiivinen jarrutusominaisuus. Vaihtosähkömoottori pystytään muuttamaan generaattoriksi, jolloin liike-energiaa voidaan varastoida sähkövarastoon. Sähköautossa järkevintä ja helpointa on ottaa liike-energia talteen sähkövarastoon. Ajoneuvoon on valittu oikosulkumoottori eli se sopii täydellisesti jarruenergian talteen ottamiseen, koska se toimii generaattorina ilman muutoksia. Jarruenergiaa talteenottavan järjestelmän mahdollisuutena on säästää arviolta jopa 20 - 30 %:n taloudellinen hyöty eli käytännössä se ilmenee auton toimintasäteen kasvuna. Regeneroiva jarrujärjestelmä on parhaimmillaan kaupunkiajossa, jossa ilmenee toistuvia kiihdytyksiä ja jarrutuksia. (6; 19.)

Sähkövarastoista on järkevintä ladata jarruenergia superkondensaattorin välityksellä akustoon. Superkondensaattori kykenee vastaanottamaan energiaa hyvin nopeasti ja se tasaa energian kulkua akustoon. Superkondensaattori kestää yli miljoona lataus-purkaus-sykliä, joten sen käyttöikä on suhteellisen pitkä. Akuston suuren koon vuoksi sinne voi ladata energiaa varsin paljon. (6; 19.)

## 6 Sähkömoottorit ja ohjaus

Sähkömoottori muuntaa sähköisen energian mekaaniseksi energiaksi. Sähkömoottorin perusominaisuuksia ovat teho, vääntömomentti ja hyötysuhde. Sähköauton moottoreina käytetään normaalisti tasavirta (DC)- tai vaihtovirtamoottoreita (AC). DC-moottori on ollut niistä yleisimmin käytetty, sillä sen säätäminen jännitettä ja virtaa muuttamalla on helppoa. Vaihtovirtamoottori on nykyään syrjäyttänyt tasavirta-moottorin ajoneuvokäytössä, koska sen säätötekniikka on kehittynyt nopeasti ja se on tehopainohyötysuhteeltaan parempi. AC-moottorin suuren vääntömomentin ja laajan tehollisen kierrosalueen vuoksi se ei tarvitse vaihteistoa lainkaan, jolloin ajoneuvon käytöstä tulee helpompaa ja vaivattomampaa. Vaihteiston sijaan saatetaan tarvita alennusvaihte, mutta vaihteiston pois jättäminen yksinkertaistaa ja keventää rakennetta sekä vähentää huollon tarvetta. DC-moottori vaatii enemmän huoltoa ja erillisen puhaltimen jäähdytykseen sekä mahdollisten hiiliharjojen vuoksi. (7; 8.)

### 6.1 AC-moottori ja ohjaus

AC-moottoreita on karkeasti kahdentyyppisiä, tahtimoottoreita sekä induktiomoottoreita. Tahtikoneita ovat esimerkiksi kestopagneettikoneet. Kestopagneettikoneet ovat

hieman kalliimpia kuin induktiokoneet sekä niiden kentänheikennysominaisuudet ovat rajoitetummat. Mikäli moottorilla halutaan saavuttaa nimellisnopeutta suurempia nopeuksia, on roottorivuota pystyttävä pienentämään. Tässä tulee raja kestopagneeteilla vastaan siinä kohtaa, missä kestopagneetit eivät kestä vastamagnetointia palautumatta. Induktiomoottori eroaa tahtimoottoreista että ne kulkee niin sanotusti epätahdissa. Tämä epätahaisuus tulee, kun roottorin pyörimistaajuus on eri kuin syöttötaajuus. Tätä erotusta kutsutaan jättämäksi. (7;20.)

AC-moottorin ohjaus perustuu vaihtojännitteen taajuuden muuttamiseen. Tällaista laitetta kutsutaan yleisesti taajuusmuuttajaksi.

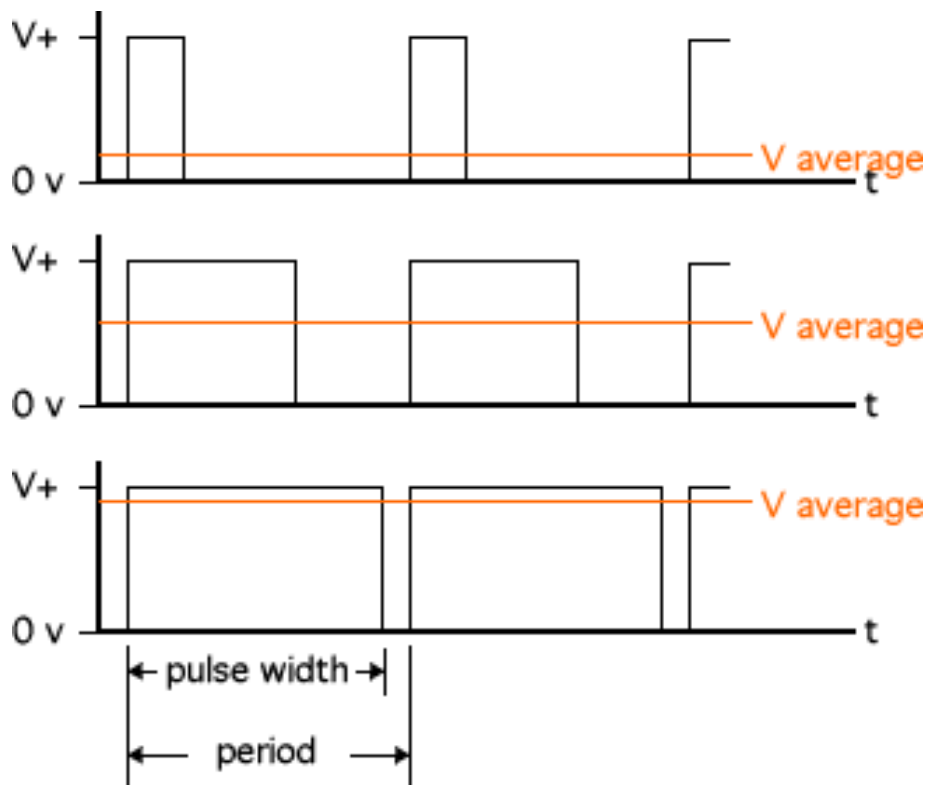
Oikosulkumoottoria ohjataan skalaariohjauksella. Tämä tarkoittaa, että moottoriin syötettävän jännitteen taajuutta ja aallon amplitudia kasvatetaan lineaarisesti aina nimellisjännitteeseen saakka, jolloin moottori on saavuttanut nimellisnopeuden. Mikäli moottorin halutaan pyöriä tätä nimellisnopeutta suuremmalla nopeudella, nostetaan pelkästään taajuutta jännitettä nostamatta. Tällöin magneettivuo pienenee kääntäen verrannollisesti taajuuteen nähden. (7;20.)

Tahtimoottorien, kuten kestopagneettimoottorien, roottorit pyörivät täysin tahtinopeudella, mutta roottori- ja staattorivuon välinen kulma muuttuu. Mikäli tahtikonetta ohjataan taajuusmuuttajalla, on tiedettävä täysin roottorin asento. Tämän takia tahtimoottoreiden ohjaus on hieman monimutkaisempaa kuin induktiomoottoreiden. (7;20.)

## 6.2 DC-moottori ja ohjaus

Tasavirtamoottoriin syötetään nimensä mukaisesti tasasähköä. Tyypillisesti DC-moottorit ovat kestopagneettityyppejä tai kenttäkäämittyjä.

Tasavirtamoottorin ohjaus tapahtuu PWM-säätimellä. PWM (pulse-width modulation) on samanlainen säädin kuin esimerkiksi valojen himmennin. Siinä säädetään pulssin leveyttä, katso kuva 8.



Kuva 8. PWM-säätimen toimintaperiaate.

Mitä kapeampi on pulssin leveys, sitä pienempi on jännitteen keskiarvo. Kun taas pulssin leveyttä kasvatetaan, kasvaa jännitteen keskiarvo lähemmäs nimellisarvoa. (20.)

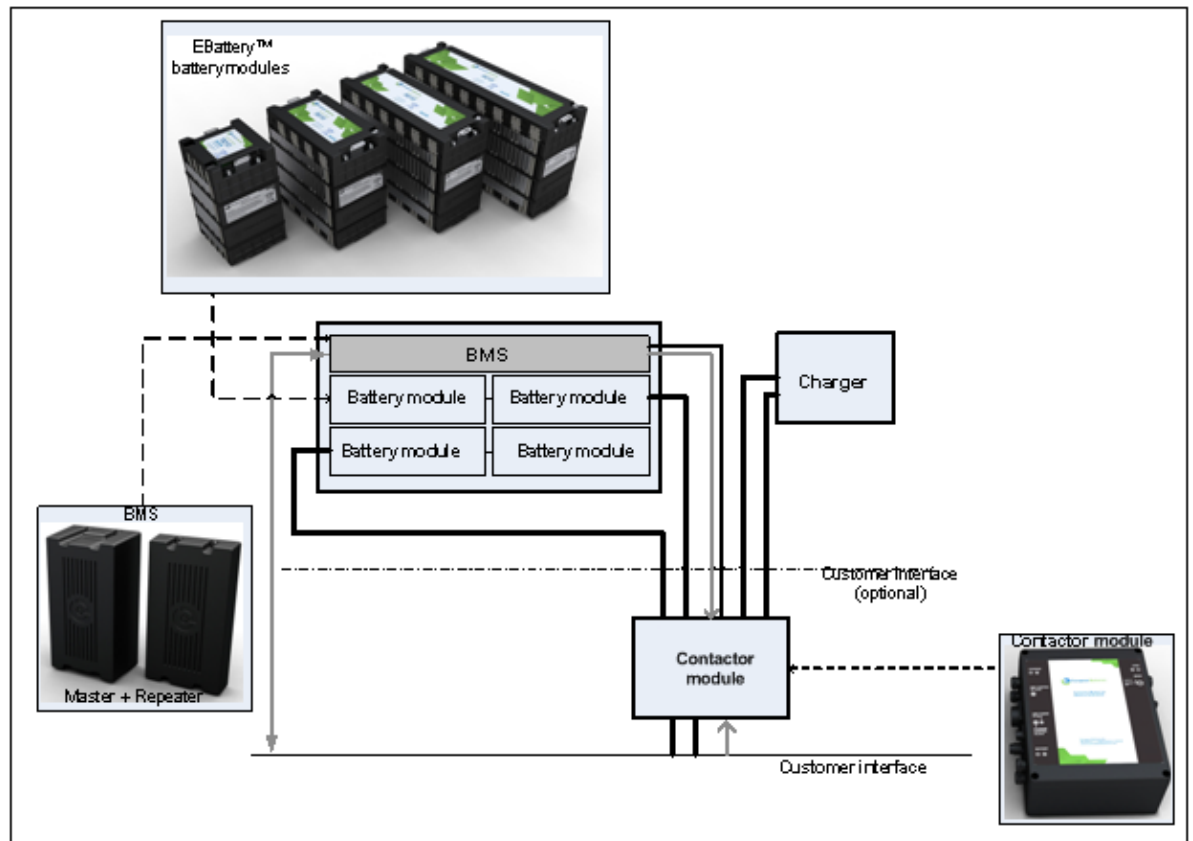
## 7 Ohjausjärjestelmät

Akuston kanssa on käytettävä BMS-järjestelmää (Battery Management System). Tämä järjestelmä valvoo ja tasapainottaa akustoa. Akkua varatessa ja purettaessa kennojen lämpötilojen ja jännitteiden tulee pysyä annetuissa arvoissa. BMS suojaa akkua viovuodasta. Vioittuva akku voi olla turvallisuusriski. BMS huolehtii akuston turvallisesta ja tehokkaasta lataamisesta. (kuva 9.) (21; 22; 23; 24.)

BMS mittaa jokaista akkukennoa, minkä perusteella se tekee tarvittavat toiminnot. Tehdävät toiminnot vaihtelevat akkutyypeistä sekä järjestelmän valmistajista riippuen. Kennojen mittaaminen on haasteellista, koska kennojen käyttö muuttuu kuorman, latausvirran ja lämpötilan mukaan. Kennojen käyttäytyminen elinkaaren mukaan tuo myös lisähaasteita akkujen hallintaan. BMS käyttää tiedonsiirrossa usein CAN-väylää (Cont-

roller Area Network). CAN-väylä on automaatioväylä, jota käytetään muun muassa ohjaus- ja mittaustietojen välittämiseen. (21; 22; 23; 24.)

Akkujen hallintajärjestelmän päätehtävät voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri osaan: suojaus, tietojen välitys ja balansointi.



Kuva 9. European Battery:n EBattery demo-järjestelmän arkkitehtuuri (25).



BMS:n mahdollisia suojaustoimintoja ovat

- ylilataaminen ja -purkautuminen
- yli- ja alivirta
- yli- ja alijännite
- yli- ja alilämpötila
- ylipaine

BMS:n mahdollisia välitettäviä tietoja ovat

- virta
- jännite
- teho
- lämpötila
- akuston kunto
- latauksen tila
- purkauksen tila
- toimitettu energia
- akuston käyttöikä.

Akkujen balansointi on yksi BMS:n tärkeimmistä tehtävistä. Kyseessä on kennojen varauksen hallinta niin, että akustosta pystytään hyödyntämään kennojen varaukset parhaalla mahdollisella tavalla. Balansointia voidaan tehdä passiivisesti ja aktiivisesti. (21; 22; 23; 24.)

## 7.1 Passiivinen balansointi

Akustoa ladattaessa kennojen välille syntyy varaustilaeroja, joita pyritään estämään passiivisella balansoinnilla. Kaikkia kennoja ei saada varattua täyteen ilman, että jokin kennoista ylivarautuisi. On siis ladattava kennoja, kunnes kennon varaus on juuri täyttymässä, minkä jälkeen latausvirta ohjataan kennon ohi. Täyttymässä olevien kennojen jännitteen nousu hidastetaan ohjaamalla osa latausvirrasta kennon ohi käyttämällä shunttivastusta. Tekniikalla saadaan akuston kaikki kennot ladattua täyteen. Kennojen varauseroilta vältytään, mikäli akusto ladataan säännöllisesti täyteen. Passiivisen balansoinnin huonona puolena on se, että pienimmän varauksen omaava kenno rajoittaa akuston suorituskykyä. (21; 22; 23; 24.)

Hybridisähköauton akustot ladataan normaalisti noin 80 %:iin täydestä varauksesta, jotta akustoa voidaan ladata käytön aikana esimerkiksi jarrutusenergiaa hyödyntäen. Tästä voi päätellä, että passiivista balansointia ei kannata käyttää hybridisähköautoissa, koska tämä vaatii akkujen täyteen lataamisen. (21; 22; 23; 24.)

## 7.2 Aktiivinen balansointi

Aktiivisen balansoinnin tehtävänä on pitää akuston kennojen varaustila samalla tasolla siirtämällä varausta kennojen välillä käyttämällä tasausyksikköä. Siirto tapahtuu sekä kuormituksen että lataamisen aikana. Järjestelmän toimiessa kaksisuuntaisesti kennojen varausjakauma säilyy tasaisena sekä purkauksen että lataamisen aikana. Aktiivisen balansoinnin avulla akuston koko kapasiteetti voidaan käyttää hyväksi. Toisin kuin passiivisessa balansoinnissa pienimmän varauksen omaava kenno ei rajoita koko akuston suorituskykyä. Akuston käyttöikä saadaan nostettua, koska sama kenno ei tyhjene aina ensimmäisenä. (21; 22; 23; 24.)

## 8 Yhteenveto

Tämän insinöörityön tavoitteena oli tutkia sähköajoneuvojen keskeisimpiä komponentteja. Työn tavoitteena oli perehtyä näiden työssäni mainittujen komponenttien toimintaan yhdessä ja erikseen. Tiedon rajallinen saanti, mikä johtuu että asia sikäli melko uusi, aiheutti ongelmia. Painettua lähdetekstiä ei juurikaan ollut, joten lähes täysin lähteenä toimi internet. Esimerkiksi erilaisista sähköajoneuvo tyypeistä löytyi hyvin tietoa, mutta Energian varastoinnista ja ohjausjärjestelmistä löytyi aika niukalti.

Tämä työ ei perehdy kovinkaan syvällisesti sähköajoneuvojen rakentamiseen liittyviin ongelma kohtiin, vaan esittelee ainoastaan joitakin keskeisimpiä komponentteja.

## Lähteet

- 1 [www.oamk.fi/~eero/ko/Opetus/Ohjausjarjestelmat/CAN/CAN-perusteet\\_AlasenMateriaalia.pdf](http://www.oamk.fi/~eero/ko/Opetus/Ohjausjarjestelmat/CAN/CAN-perusteet_AlasenMateriaalia.pdf). Viitattu 09/2012.
- 2 TUISKE selvitys: Selvitystyö sähköenergian käyttömahdollisuuksista ajoneuvoissa.
- 3 <http://people.bath.ac.uk/mw488/hybrid.html>. Viitattu 08/2012.
- 4 <http://www.sahkoautot.fi/wiki:akut>. Viitattu 09/2012.
- 5 [http://www.tiede.fi/artikkeli/956/sahkoautossa\\_kinkkisin\\_on\\_akku](http://www.tiede.fi/artikkeli/956/sahkoautossa_kinkkisin_on_akku). Viitattu 09/2012.
- 6 <http://auto.howstuffworks.com/electric-car3.htm>. Viitattu 09/2012.
- 7 <http://www.sahkoautot.fi/wiki:moottori>. Viitattu 09/2012.
- 8 <http://avt.inel.gov/pdf/fsev/power.pdf>. Viitattu 09/2012.
- 9 <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2199.pdf>. Viitattu 08/2012.
- 10 [http://www.tem.fi/files/24099/Sahkoajoneuvot\\_Suomessa-selvitys.pdf](http://www.tem.fi/files/24099/Sahkoajoneuvot_Suomessa-selvitys.pdf). Viitattu 08/2012.
- 11 <http://fi.wikipedia.org/wiki/Lyijyakku>. Viitattu 08/2012.
- 12 [http://fi.wikipedia.org/wiki/Akku#Nikkeli-kadmiumakku\\_.28NiCd.29](http://fi.wikipedia.org/wiki/Akku#Nikkeli-kadmiumakku_.28NiCd.29). Viitattu 08/2012.
- 13 [http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/waste\\_management/l21202\\_en.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/waste_management/l21202_en.htm). Viitattu 8/2012.
- 14 [http://www.sahkoturva.info/oikopolut/sahkoa\\_monessa\\_muodossa/fi\\_FI/akut/](http://www.sahkoturva.info/oikopolut/sahkoa_monessa_muodossa/fi_FI/akut/). Viitattu 08/2012.
- 15 [http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/REG\\_Akku-%20ja%20paristotekniikat.pdf](http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/REG_Akku-%20ja%20paristotekniikat.pdf). Viitattu 5.4.2011.

- 16 <http://sahkokelkka.ramk.fi/page/litiumioniakku/>. Viitattu 09/2012.
- 17 [http://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_double-layer\\_capacitor](http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_double-layer_capacitor). Viitattu 08/2012.
- 18 <http://www.flinkenberg.fi/electronics/lsmtron.html>. Viitattu 09/2012.
- 19 <http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-types/regenerative-braking5.htm>. Viitattu 09/2012.
- 20 <http://www.sahkoautot.fi/wiki:kontrolleri#toc0>. Viitattu 10/2012.
- 21 <http://www.sahkoautot.fi/wiki:saehkoeautomuunnoksen-akuston-valvonnan-vaatimukset>. Viitattu 10/2012.
- 22 [http://en.wikipedia.org/wiki/Battery\\_Management\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Battery_Management_System). Viitattu 10/2012.
- 23 <http://www.avdweb.nl/solar-bike/electronics/bms.html>. Viitattu 10/2012.
- 24 <http://www.dmcinfo.com/Portals/0/White%20Papers/DMC%20EV%20Battery%20Test%20White%20Paper.pdf>. Viitattu 10/2012.
- 25 EBattery\_DEMO\_BatterySystemManual\_v1.1